UEBER DEN

EINFLUSS DER DICHTIGKEIT

AUF DIE

VISCOSITÄT

TROPFBARER FLUESSIGKEITEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT
FREIBURG IM BREISGAU

VON

Lehramtspraktikant Joseph Sachs

aus Freiburg i. B.

FREIBURG i. B.
UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKEREI VON CHR. LEHMANN.
1883.

Seinem Oheim

Herrn Geheimerat

Johann Bapt. Karl Damian Junghanns

Doctor honor. der juristischen Fakultät der Universität Freiburg

Grossh. bad. Justizministerialdirektor a. D.

zum 87sten Geburtstag

in dankbarer Verehrung

zugeeignet

vom

Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550827_0193

Schon Coulomb, welchem man die ersten nach einer guten Methode angestellten Versuche über die Reibung der tropfbaren Flüssigkeiten verdankt, hat sich die Frage vorgelegt, ob dieselbe vom Druck abhängig sei.[1]) Die Methode von Coulomb bestand bekanntlich darin, dass er eine an einem Drahte aufgehängte Scheibe in der zu untersuchenden Flüssigkeit Torsionsschwingungen ausführen liess und die Dämpfung der Schwingungen als das Mass der Reibung betrachtete. Als er nun seine Schwingungsversuche unter dem Recipienten der Luftpumpe anstellte, fand er zu seiner Verwunderung, dass wenn er diesen evakuirte, die Dämpfung sich nicht änderte. Dieses Resultat erschien Coulomb deshalb so auffallend, weil er offenbar ursprünglich an eine Analogie mit der Reibung fester Körper dachte, welche bekanntlich dem Druck proportional ist. Er zog aber aus jener Thatsache den richtigen Schluss, dass die Flüssigkeitsreibung von der Reibung fester Körper fundamental verschieden sei. Dieser fundamentale Unterschied besteht, wie man heute weiss, darin, dass bei der Reibung zweier fester Körper aufeinander der eine über den andern hingleitet, also die

[1]) Mém. de l'institut national, an IX, p. 246. Experiences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur resistance dans les mouvements tres lents.

Reibung der beiden Körper gegeneinander in Betracht kommt. Bei der Reibung von Flüssigkeiten an einem festen Körper haftet dagegen eine Flüssigkeitsschicht fest am Körper und macht dessen Bewegung mit, so dass sich nur Flüssigkeit an Flüssigkeit reibt, und man es nur mit der sogenannten inneren Reibung zu thun hat.

Die Unabhängigkeit der Reibung tropfbarer Flüssigkeiten vom Druck ist später durch Poiseuille's Versuche bestätigt worden, und man hat seither die Reibung der tropfbaren Flüssigkeiten vom Druck unabhängig gesetzt.

Erst die Herren Professoren Warburg und von Babo haben gelegenheitlich ihrer Arbeit „Ueber den Zusammenhang zwischen Viscosität und Dichtigkeit bei flüssigen, insbesondere gasförmig flüssigen Körpern“ [1]) für eine einzelne Flüssigkeit, nämlich für tropfbarflüssige Kohlensäure eine wesentliche Aenderung des Reibungsindex durch den Druck nachgewiesen. Für die Temperatur von 25,1° fanden sie bei einer Druckerhöhung von 70 auf 105 Atmosphären den Reibungsindex von $628 . 10^{-6}$ auf $800 . 10^{-6}$ vergrössert. Da die genannte Untersuchung ergeben hat, dass die Viscosität viel enger mit der Dichte als mit dem Druck zusammenhängt, die tropfbarflüssige Kohlensäure aber unter den genannten Verhältnissen sehr stark compromirbar ist, so erscheint das mit Kohlensäure erhaltene Resultat im Vergleich mit andern tropfbaren Flüssigkeiten, deren Reibung man bisher nur bei wenig, höchstens um einige Atmosphären verschiedenen Drucken geprüft hat, nicht auffallend. Wenn aber bei andern tropfbaren Flüssigkeiten die Aenderung der Viscosität mit der Dichte von derselben Ordnung ist, wie bei der tropfbaren Kohlensäure, so war bei jenen ein sehr merk-

[1]) Sitzungsberichte der Berliner Akad. d. Wissenschaften 1882, S. 509. — Wiedemann's Annalen der Physik 1882, 17, S. 390.

licher Einfluss der Dichte auf die Viscosität dann zu erwarten, wenn dieselben zwischen Drucken von 1 und etwa 100 Atmosphären geprüft wurden. Da nun der Apparat von Warburg und v. Babo erlaubte, den Druck bis zu 150 Atmosphären zu steigern, so forderte Professor Warburg mich auf, mit dem genannten Apparat andere tropfbare Flüssigkeiten dem Versuch zu unterziehen; und es hat sich in der That ergeben, dass bei den untersuchten Flüssigkeiten, nämlich Wasser, Benzol, Aether und Alcohol eine Abhängigkeit der Viscosität vom Druck besteht. Ueber diese Versuche soll in der gegenwärtigen Arbeit berichtet werden. Zu denselben wurde, wie schon erwähnt, der von Warburg und v. Babo construirte Apparat benutzt, mit einigen Veränderungen, welche der veränderte Zweck mit sich brachte. Ich will zunächst an die Construction dieses Apparats in Kürze erinnern und die genannten Abänderungen beschreiben.

In einen starken stählernen Cylinder A (s. Fig. I) von 2^{cm} Lichtweite ist von unten ein Glasrohr B von 5^{mm} Wanddicke vollkommen dicht eingesetzt, indem dessen trichterförmig erweiterter Rand mittelst eines Kautschukrohres b durch die Schraube C gegen den mit einer Lederscheibe bedeckten Fortsatz a des Cylinders A angepresst wird. In das Glasrohr B ist ein wenig destillirtes Quecksilber eingegossen, und in dieses taucht mit seinem untern offenen Ende der ganz aus Glas gefertigte Hauptteil defg des Apparats. Von dessen drei Teilen trägt der untere die Messröhre ed mit vier Platinringen, die bei 0, 1, 2, 3 als Marken eingeschmolzen sind. Zwischen die Messröhre und den obern Teil ist die Capillare ef mit möglichst plötzlicher Erweiterung ihres lichten Raumes angeschmolzen. Der dritte Teil fg ist ein Glasrohr, das an seinem obern Ende in eine mit seitlichen Löchern versehene Glaskugel endigt, und dient dazu, Capillare

und Messröhre mit dem Kopfteil des Apparats zu verbinden. Dazu ist fg mittelst eines Stückchens Kautschukschlauch i in der Bohrung des stählernen Ringes k befestigt. Letzterer trägt zwei Gewinde, durch deren eines die ebenfalls durchbohrte Kappe l über die Glaskugel g aufgeschraubt wird. Mit dem andern Gewinde wird k und damit der ganze Teil defg an den Kopfteil des Apparats angefügt. Die Construction dieses Kopfteils ermöglicht nun, während der ganze Reibungsapparat mit Flüssigkeit gefüllt ist, das Quecksilber in der Messröhre emporzuheben, und dann aus den Zeiten, in welchen die Quecksilberkuppe von einer zur andern Marke zurücksinkt, den Reibungscoefficienten der durch die Capillare nachströmenden Flüssigkeit zu bestimmen. Zu dem Zweck besteht der Kopfteil aus zwei ineinandergeschobenen stählernen Röhren EF, deren äussere E in das obere Gewinde D des erstgenannten Cylinders A eingeschraubt wird. Die innere, F, ist nach unten konisch verdickt und mit ihrem konischen Teil in die äussere eingeschliffen. Durch diesen konischen Schliff geht eine E und F durchsetzende horizontale Bohrung n n', infolge welcher den beiden Röhren E und F die Eigenschaft als innerer und äusserer Hahnkörper zukommt. Davon kann der innere F mittelst des Armes G gedreht werden und sein Innenraum durch die Spitze p der Schraube H nach oben abgeschlossen werden. Sobald nun der Arm G so gestellt wird, dass die Bohrungen n n' nicht gleichgerichtet sind, ist der ganze Hohlraum des Apparats in zwei Teile geschieden, nämlich vom innern bezw. äussern Niveau des Quecksilbers aufwärts — der eine durch die Messröhre und Capillare hindurch bis zur Schraubenspitze p, der andere durch den ringförmigen Raum zwischen Aussenwand der Messröhre und Innenwand des Glasrohres B aufwärts bis zum Gewinde D. Ein Ueberdruck in diesem äussern Raum presst nun das Quecksilber in der Messröhre aufwärts

solange die Schraubenspitze p gelüftet bleibt. Um einen solchen Ueberdruck hervorbringen zu können, ist durch eine Bohrung q im Cylinder A ein Stück L eingeschraubt, dessen mit der Hahnschraube M verschliessbarer Kanal durch das seitliche Rohr N mit einer hydraulischen Presse in Verbindung gesetzt ist.

Der stählerne Cylinder A wird gehalten in einem eisernen Ring, der selbst mittelst eines Fortsatzes nach einem vertikalen, in der Wand des Zimmers befestigten Arm auf und ab verschiebbar ist. Dadurch kann der ganze Apparat während der Versuche in einen mit Durchsicht versehenen Kasten eingesenkt werden, in welchem ein Wasserbad durch eine Wasserheizung auf constanter Temperatur gehalten wird.

Die wesentlichste Abänderung, die nun gegenüber der Anordnung für Kohlensäure vorgenommen wurde, betraf das Manometer. Das von Warburg und v. Babo benutzte Manometer — ein in einen zweiten Stahlklotz eingesetztes Capillarrohr mit abgeschlossenem Gasvolumen — hätte nämlich die Schwierigkeit ergeben, bei jedem Wechsel der Substanz das Ganze auseinander zu nehmen, um die Reste der vorigen Substanz gründlich zu entfernen. Dasselbe wurde daher durch ein Blanke'sches Feder-Manometer ersetzt, welches in die Fortsetzung des Armes N mittelst Hohl- und Vollkonus mit Ueberfangschraube eingefügt war; da eine so strenge Rücksichtnahme auf Richtigkeit der Angaben, wie bei der Kohlensäure, wegen der nur in Intervallen von je 50 Druck-Einheiten angewendeten Drucke nicht mehr erforderlich war, so reichte hier die Genauigkeit dieses Manometers hin.

So konnten nun mit Wasser und wässrigen Lösungen die unten mitgeteilten Versuche ausgeführt werden. Dagegen ergaben sich Schwierigkeiten, als auch Benzol und Aether in den Kreis der Untersuchung gezogen werden sollten. Beide Substanzen nämlich, besonders Benzol,

erfuhren eine sogar dem freien Auge bemerkbare starke Verunreinigung unmittelbar vor ihrem Einfliessen in die Capillare durch Auflösung des daselbst befindlichen Stückes Kautschukschlauch i, das zum Festhalten des Glasteiles fg in dem Endstück k des stählernen Kopfteiles diente. Dieser Kautschukschlauch wurde daher ersetzt durch ein Korkpfröpfchen, das erst durch Pressen und Kneten nachgiebig gemacht, sodann in die Bohrung von k eingedreht und mittelst eines glühend gemachten Drahtes zur Einführung des Glasrohres durchbohrt wurde. Nun erwies sich aber die Korksubstanz so wenig dicht gegen Benzol und insbesondere Aether, dass ein Heben des Quecksilbers in der Messröhre ed unmöglich wurde, indem sich die dazu im äusseren Rohre B hervorgebrachten Ueberdrucke nicht durch die Capillare, sondern durch den Kork hindurch ausglichen. Deshalb wurden noch die beiden freien Endflächen des Korkes mit einer Schicht Chromleim überzogen, der, heiss aufgetragen und einige Tage der Wirkung der Sonne ausgesetzt, unlöslich und undurchdringlich wurde.

Da es aber ferner ausser bei Wasser nicht anging, dieselbe Flüssigkeit in die hydraulische Presse zu verwenden, mit welcher der Versuch gemacht werden sollte, so wurde noch zwischen Pumpe und Manometer eine Vorlage eingeschaltet, durch welche ermöglicht wurde, mittelst Glycerin in der Pumpe auf Quecksilber und damit auf die Versuchssubstanz zu pressen.

Diese Vorlage (s. Fig. 2) wurde von Mechaniker Mayer in Strassburg ausgeführt in Gestalt einer transformirten U-Röhre, indem der eine Schenkel in den andern selbst eingestülpt war. Dieselbe bestand nämlich aus einem im Licht 3^{cm} weiten stählernen Gefäss G von 1^{cm} Wanddicke und 22^{cm} innerer Höhe mit seitlicher Ausflussöffnung O zur Pumpe. Durch ein am obern Ende eingedrehtes Gewinde w wurde ein T-förmig durchbohrtes

Kopfstück eingeschraubt, das sich nach unten innen (v) nochmals verjüngte und dort mit einem 2^{cm} weiten Rohr verschraubt war. Dieses, als der eingestülpte Schenkel des U-Rohres, reichte ins Innere des eisernen Gefässes G bis fast zum Boden herab und tauchte in das daselbst eingefüllte Quecksilber, welches somit durch Druck von der Pumpe her ins Innere dieses Rohres hineingepresst wurde. Um vom Niveau des eingegossenen Quecksilbers Q aussen nach unten und innen nach oben möglichst viel Raum zur Verfügung zu haben, ohne doch dem Apparat eine allzu unförmige Gestalt zu geben, war nun noch jenes innere Rohr R im Abstand von 14^{cm} von seinem Eingangsgewinde v bis auf 0,5^{cm} Weite verengt (bei s), so dass aussen nur ein Niederdrücken um noch nicht 6^{cm} nötig war, um den ganzen Innenraum von 33^{ccm} mit Quecksilber zu füllen, also um soviel Substanz aus demselben fortzupressen. Letztere gelangte dann durch den vertikalen Schenkel X der T-förmigen Bohrung des Kopfstückes in den einen horizontalen nach dem Hauptapparat gerichteten Seitenschenkel Y, während der andere Z eine als Hahn funktionirende Schraube H enthält, durch deren Spitze bei t das Innere der Vorlage gegen die Fortsetzung zum Manometer abgeschlossen werden kann. Die ganze Vorlage wurde nach Füllung mit Quecksilber und Versuchssubstanz am Schraubstock zusammengeschraubt und sodann beiderseits mit Hohl- und Vollkonus nebst Ueberfangschrauben an das Manometer bezw. die Pumpe angesetzt.

Um den ganzen Apparat vollständig mit der Versuchssubstanz zu füllen, wurde, bevor der Kopfteil im Hauptapparat eingesetzt war, die Zuleitung zusammengefügt, durch Drücken mit der Pumpe die Flüssigkeit aus dem Innern der Vorlage vorgeschoben, und so die Luft aus dem Verbindungsarm verdrängt, um dafür durch das beim Nachlassen des Drucks stattfindende Sinken des

Quecksilbers im Rohre R der Vorlage, die im Cylinder A des Hauptapparats eingefüllte Substanz nachzusaugen. Ferner wurde an der Wasserluftpumpe der vollständig zusammengesetzte Innenteil D bis d angesetzt und durch die Messröhre und Capillare hindurch mit der untergestellten Substanz vollgesaugt. War endlich der ganze Apparat zusammengesetzt und im Wasserbade die Beobachtungstemperatur einige Zeit constant erhalten, so wurde durch einen geringen Ueberdruck von der Pumpe her bei umgelegtem Hahn G das Quecksilber in der Messröhre zur Marke O gehoben und die Versuchsreihe begonnen.

Es wurden zu einer vollständigen Versuchsreihe bei derselben Temperatur je drei Versuche gemacht bei den Ueberdrucken 0, 50, 100, 150 und wieder zurück bei 100, 50, 0 kg per qcm im Manometer, um aus der Uebereinstimmung der Zeiten auf dem Rückgang mit den vorherigen einen Schluss ziehen zu können, ob während der Versuchsreihe (die drei bis vier Stunden in Anspruch nahm) die Reinlichkeit der Substanz und der Capillare unverändert geblieben war.

Bei der geringen Compressibilität der tropfbarflüssigen Substanzen konnten Druckschwankungen während des Versuchs, solange sie nur geringen Umfang annahmen, dadurch ausgeglichen werden, dass die Schraube M (Fig. 1) um Bruchteile einer Umdrehung angezogen wurde, also auf diese Art durch Verkleinerung des Volums die Wiedererhöhung des Drucks auf den vorherigen Stand herbeigeführt werden.

Nach Schluss einer solchen Versuchsreihe wurde dann der Apparat aus dem Wasserbade herausgenommen, um die Messungen des bei den Versuchen stattgehabten Quecksilberüberdruckes vorzunehmen. Dies geschah, indem eine auf ihre Richtigkeit verglichene Papierscale mit Millimeterteilung hinter das Glasrohr B geklebt und auf ihr die correspondirenden Höhen der innern und äussern Quecksilberkuppen abgelesen wurden.

Der Wert der Differenz der Capillardepressionen innen und aussen wurde dabei wegen der ohnehin nur ungenauen Bestimmungsmöglichkeit unberücksichtigt gelassen, zumal er durch eine grössere Lichtweite des Glasrohres B noch unter den Wert $0{,}14^{cm}$ (wie in der genannten Arbeit über Kohlensäure) herabgedrückt worden war.

Beginnen wir damit, zu prüfen, wie genau der Reibungsindex der zu untersuchenden Flüssigkeiten sich unter den vorliegenden Verhältnissen bei Atmosphärendruck bestimmen liess.

Die Theorie, nach welcher aus den Zeiten, während deren das Quecksilber in der Messröhre durch die Höhe zwischen je zwei Marken sinkt, und aus den Constanten des Apparates der Reibungsindex berechnet werden konnte, war analog jener für gasförmige Substanzen die folgende.

Man hat einerseits nach dem Poiseuille'schen Gesetze, dessen Giltigkeitsgrenzen innegehalten waren, für das in der Zeit dt durch eine Capillare von der Länge l^{cm} und dem Radius r^{cm} unter Druckdifferenz P (in absolutem Masse) beim Ein- und Ausströmen durchfliessende Volumen dv einer Flüssigkeit, deren Reibungscoefficient μ ist, die Gleichung:

$$dv = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l} \cdot P \cdot dt = z \cdot P \cdot dt,$$

indem $$z = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l}$$ gesetzt ist.

Anderseits hat man aus der Construction des Apparates und unter Beibehaltung der Bezeichnungen (alle in Einheiten des C. G. S-Systems)

— h und h' für die von beliebiger Horizontalebene vertikal aufwärts gemessenen Höhen der Quecksilberkuppen in der Messröhre und dem ringförmigen Raume zwischen

Aussenwand der Messröhre und Innenwand des Glasrohres B (s. Fig. 1);

h_m und h'_m ($m = 0, 1, 2, 3$) die einer der Marken 0, 1, 2, 3 entsprechenden Werte dieser Grössen;

q und q' die Querschnitte der Messröhre und des beschriebenen ringförmigen Raumes, $\frac{q}{q'} = \delta$:

p_1 und p Druck am obern und untern Ende der Capillare,

σ und s Dichtigkeit des Quecksilbers und der Versuchssubstanz unter den Versuchsverhältnissen;

— dagegen unter Vernachlässigung des schon für Kohlensäure als höchst unbedeutend nachgewiesenen Einflusses der Compressibilität,

$$dv = -q\,dh.$$

Die Durchführung der Reibungstheorie mit Berücksichtigung dessen, dass wie in unserm Falle, die Capillare vertikal steht, und dass das Flüssigkeitsniveau in den beiden während der Strömung verbundenen Räumen stets gleichhoch bleibt, zeigt nun, dass in dem Ausdruck des Poiseuille'schen Gesetzes für dv statt P zu setzen ist

$$p_1 - p + g\,.\,s\,.\,l.$$

Da also $p = p_1 + g\,.\,s\,.\,l + (h - h')(\sigma - s)\,g$,

so ergibt sich, dass für P einzusetzen ist

$$(h - h')(\sigma - s)\,g.$$

Somit hat man die Differentialgleichung

$$-q\,dh = \varkappa\,.\,P\,.\,dt = \varkappa\,(h - h')(\sigma - s)\,g\,dt.$$

Um die zwei hierin vorkommenden Variabeln h, h' auf die eine h zu reduziren, benutzen wir die aus der Beachtung der Verhältnisse des Apparats hervorgehenden Beziehungen:

$$q\,h + q'h' = q\,h_0 + q'h'_0$$
$$\delta\,h + h' = \delta\,h_0 + h'_0$$
$$h - h' = h\,(1 + \delta) - (\delta\,h_0 + h'_0).$$

Durch Einsetzen in die Differentialgleichung und Trennung der Variabeln kommt:

$$\varkappa(\sigma - s)\, g\, dt = \frac{-q\, dh}{h - h'} = \frac{-q\, dh}{h(1+\delta) - (\delta h_0 + h'_0)},$$

also unbestimmt integrirt

$$\varkappa(\sigma - s)\, g\, .\, t = -\frac{q}{1+\delta} \log \text{nat}\,[h(1+\delta) - (\delta h_0 + h'_0)]$$

$$= -\frac{q}{1+\delta} \log \text{nat}\,[h - h'].$$

Unter Einsetzung und gleichzeitig Umkehrung der Grenzen und Ersetzung des log nat durch $\frac{\log \text{vulg}}{\log e}$ entsteht

$$\varkappa(\sigma - s)\, g\, T_{mn} \log e = -\frac{q}{1+\delta} \Big\{ \log (h - h') \Big\}_m^n \ldots m < n, \quad \begin{matrix} m = 0, 1, 2, 3 \\ n = 1, 2, 3 \end{matrix}$$

$$= + \frac{q}{1+\delta} \cdot \log \frac{h_n - h'_n}{h_m - h'_m}$$

$$= \frac{q}{1+\delta} \cdot A_{mn}.$$

Dabei bedeutet T_{mn} die Strömungszeit zwischen irgend zwei Marken m und n; und man erhält

$$\frac{1}{\mu} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l} \cdot (\sigma - s)\, g\, .\, T_{mn} \log e = \frac{q}{1+\delta} \cdot A_{mn}, \text{ woraus}$$

$$\mu = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l} \cdot g\, .\, \log e\, .\, (\sigma - s)(1+\delta)\, .\, \frac{T_{mn}}{q\, .\, A_{mn}}$$

$$= T_{mn} \cdot \frac{(1+\delta)(\sigma - s)}{q\, .\, A_{mn}} \cdot k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I)},$$

indem $A_{mn} = \log \frac{h_n - h'_n}{h_m - h'_m}$ und $k = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l} \cdot g\, .\, \log e.$

Es ist dies dieselbe Formel, welche unter den gemachten Vernachlässigungen aus der in der mehrfach erwähnten Arbeit für Kohlensäure angegebenen hervorgeht.

Zwei Beispiele mit Anwendung dieser Formel mögen nun zeigen, dass der Apparat genügt, um befriegende Resultate zu liefern. Berechnen wir zunächst den Reibungscoefficienten für Aether von 20° bei Atmosphärendruck: Es ergaben sich die Strömungszeiten

$$T_{01} = 49{,}2^{sec};\ T_{02} = 112{,}8^{s};\ T_{03} = 210{,}0^{s}.$$

Die Ausmessungen der Quecksilberhöhen h und h' ergaben als correspondirende Werte für h und h' für die vier Marken in Millimetern

	h	h'
M_0	178,8	68,5
M_1	159,4	72,3
M_2	139,8	75,8
M_3	121,0	79,9

daraus ergiebt sich $\delta_{01} = 0{,}203$ und $A_{01} = 0{,}1045$
$\delta_{02} = 0{,}195$ $A_{02} = 0{,}2363$
$\delta_{03} = 0{,}195$ $A_{03} = 0{,}4265.$

Ferner war im Messrohre

$q_{01} = 0{,}02185,\ q_{02} = 0{,}02176,\ q_{03} = 0{,}02203^{qcm}$,

und im übrigen

$r = 0{,}004078^{cm},\ l = 6{,}19^{cm},\ \sigma - s = 12{,}834,$

demnach erhält man mit Benützung von T_{01} den Wert

$$\mu_{01} = \frac{49{,}2 \,.\, 1{,}203 \,.\, 12{,}834}{0{,}02185 \,.\, 0{,}1045} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{981}{6{,}19} \,.\, \log 2{,}718 \,.\, 0{,}004078^4$$
$$= 0{,}002541$$

und analog ein μ_{02} und μ_{03}, also zusammengestellt:

1. Aether. Temp. 20°.

Beobachtung zwischen den Marken	Wert von μ
0 und 1	0,002541
0 und 2	0,002519
0 und 4	0,002568

Mittel 0,002543.

Nach Wijkander[1]) ist der Reibungsindex für Aether von 20° gleich 0,00258.

Eine andere Versuchsreihe liefert für Wasser bei 15°:

$T_{01} = 95{,}8$, $T_{02} = 219{,}4$, $T_{03} = 403{,}5$,

Dabei waren		h	und	h′
für	M_0	155,3		41,3
	M_1	136,6		45,2
	M_2	116,8		49,1
	M_3	98,0		53,1

also $\delta_{01} = 0{,}205$ und $A_{01} = 0{,}0989$
$\delta_{02} = 0{,}204$ $A_{02} = 0{,}2264$
$\delta_{03} = 0{,}207$ $A_{03} = 0{,}4048$, die q wie oben.

Endlich $r = 0{,}00521^{cm}$, $l = 7{,}42^{cm}$, $\sigma - s = 12{,}549$, so dass die Zusammenstellung der Werte von μ aus den drei Zeiten folgende Gestalt annimmt:

2. Wasser. Temp. 15°.

Beobachtung zwischen den Marken	Wert von μ
0 und 1	0,01114
0 und 2	0,01117
0 und 3	0,01137

Mittel 0,01124.

Von Poiseuille und Sprung[2]) sind hiefür die Werte 0,01166 bezw. 0,01158 gefunden worden.

Wenn es sich um möglichst genaue Bestimmung des Reibungsindex handelte, so würde man offenbar eine andere Construktion des Apparats wählen, als sie hier im Interesse der Widerstandsfähigkeit gegen hohe Drucke genommen ist. Die eben mitgeteilten Versuche sollen

[1]) Beiblätter zu den Annalen 1879 aus Lund, Physiogr. Jubelskrift. 1878.

[2]) Poggendorff, Annalen 159.

deshalb nur ein Urteil darüber ermöglichen, welche Genauigkeit sich unter diesen jedenfalls ungünstigen Verhältnissen erreichen lässt.

Da nun die Bestimmung absoluter Reibungscoefficienten nicht Ziel der Untersuchung ist, so wurde im allgemeinen von der Berechnung der Indices Abstand genommen, und man beschränkte sich darauf, in jedem Falle die Giltigkeit des Poiseuille'schen Gesetzes zu prüfen, welches erfüllt ist, wenn sich der Wert von $\frac{T_{nn}}{A_{mn}}$ aus den Beobachtungen zwischen verschiedenen Marken constant ergibt. Die Berechnung der Versuche geschah vielmehr nach folgendem Plan. Seien T und T_0 die Durchflusszeiten bei zwei Versuchen, welche sich nur dadurch unterscheiden, dass bei T der Druck im Apparat um p Druckeinheiten grösser war, als bei T_0. Setzen wir ferner

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha . p) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II)$$

und beachten, dass nach Formel (I), wenn man, was erlaubt, in derselben die Aenderungen von s vernachlässigt, μ gleich ist dem Produkt aus T und einer Constanten, so ergibt sich

$$\alpha = \frac{T - T_0}{p . T_0}.$$

Setzen wir ferner auch

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \beta \frac{\Delta s}{s}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (III),$$

wo $\frac{\Delta s}{s}$ die Compression bezeichnet, so ergibt sich

$$\beta = \frac{T - T_0}{\frac{\Delta s}{s} . T_0} = \alpha \frac{p}{\frac{\Delta s}{s}}.$$

Da nun die Zusammendrückbarkeit $z = \frac{\Delta s}{s} . \frac{1}{p}$, so folgt

$$\beta = \frac{\alpha}{z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (IV).$$

Man beschränkte sich nun auf die Berechnung von α und β; und zwar war dies besonders deshalb angezeigt, weil öfter das untere Glasrohr B (s. Fig. 1) zersprang, nachdem Bestimmungen über den Wert von T gewonnen waren, aber die Ausmessungen der zur Berechnung von μ erforderlichen Grössen noch fehlten. Denn obgleich die Reinigung des Rohres nur mittelst Holzstäbchen und Durchsaugen mit langen Strohhalmen stattfand, so geschah es doch sehr oft, dass dasselbe während eines Strömungsversuchs im Wasserbade plötzlich gesprengt wurde, und so die ganze Versuchsreihe für Bestimmung des Reibungsindex verloren gewesen wäre.

Es folgen nunmehr die mit den verschiedenen untersuchten Substanzen Aether, Benzol, Wasser angestellten Versuche. Dabei wird jeweils die Ordnungszahl der zu den Versuchsreihen angewendeten Capillaren angegeben, deren Dimensionen, soweit ihre Bestimmung nicht aus dem eben angegebenen Grunde vereitelt wurde, die folgenden waren:

	rad. in cm	l
1.	0,006125	8,12^{cm}
2.	0,005388	—
3.	0,005294	—
4.	0,00523	7,93
5.	0,00521	7,42
6.	0,00454	6,33
7.	0,003940	6,19.

I. Aether.

Es wurde erst eine Anzahl von Versuchsreihen angestellt mit Aether in dem Zustande, wie dieser gewöhnlich im Handel vorkommt, zu den definitiven Versuchen aber Aether als „absolut“ aus der Universitätsapotheke bezogen, bei welchem bis auf $^1/_2$ bis 1% Reinheit garantirt war.

Der Reibungsindex ergab sich für Aether bei 20 und 30° zwischen den Druckgrenzen von 0 bis 150 kgr/qcm Ueberdruck mit zunehmender Dichte wachsend. Es mögen zuerst die beobachteten Strömungszeiten für einige Versuche ausführlich angeführt werden.

1. Aether bei 18°.

Ordnungs-Zahl des Versuchs[1])	Druckangabe des Manometers in kg/qcm								
	0			50			100		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1.	45,5	105,0	185,5						
2.	43,5	100,5	182,0						
3.	44,0	101,0	186,5						
4.				47,0	106,0	192,0			
5.				47,0	113,0	207,5			
6.	45,0	—	183,5						
7.				46,5	107,0	193,0			
8.							49,0	112,5	203,5
9.							50,0	114,0	206,5
10.				48,5	109,5	200,0			
11.	46,0	106,5	195,0						
Mittel	44,8	103,3	186,5	47,3	108,9	198.1	49,5	113,3	205,0

2. Aether bei 20°.

Ordn.-Zahl des Versuchs	Druckangabe des Manometers in kg/qcm											
	0			50			100			150		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1.	48,8	113,6	212,0									
2.	49,6	112,4	—									
3.	49,2	112,4	208,0									
4.				53,6	122,4	222,5						
5.				51,6	119,2	219,5						
6.				52,4	121,6	223,5						
7.							53,5	123,0	226,0			
8.										55,0	126,0	231,5
9.										56,5	130,5	244,5
10.							53,5	123,5	229,5			
11.				52,5	122,0	229,0						
Mittel	49,2	112,8	210,0	52,5	121,3	223,6	53,5	123,3	227,8	55,8	128,3	238,0

[1]) Durch die „Ordnungszahl des Versuchs" ist jeweils die zeitliche Aufeinanderfolge der Versuche innerhalb einer Versuchsreihe angegeben.

Ich lasse nunmehr die Resultate sämmtlicher mit Aether angestellten Versuche folgen, indem ich mich dabei beschränke auf die Angabe der berechneten Werte α. Und zwar sind die Werte α berechnet:

1) aus den Versuchen für die Ueberdrucke 0 und 50 (α'), 0 und 100 (α'') und 0 und 150 (α''');
2) jedes α' α'' α''' aus den Strömungszeiten zwischen den Marken 0 und 1, 0 und 2, 0 und 3.

Es sind daher in der umstehenden Tabelle verzeichnet unter α' (bezw. α'', α''') der Bruchteil, um welchen die Werte der mittleren Strömungszeiten zwischen den Marken 0 und 1, 0 und 2, 0 und 3 zunehmen bei Zunahme des Ueberdrucks um 1 kg/qcm im Intervall von 0 zu 50 (bezw. 0 zu 100, 0 zu 150). Sodann stehen unter $\overline{\alpha}$ die Mittel dieser Zunahme in allen in der Versuchsreihe vorkommenden Druckintervallen wieder für die dreierlei Strömungszeiten, und endlich unter α noch die Mittel aus den drei Werten von $\overline{\alpha}$.

Ordngs.-Zahl der Vers. Reihe	Ordngs.-Zahl der Cap.	Temp.	Marken	α'	α''	α'''	$\overline{\alpha}$	α
I.	7	18°	0 u 1	0,00110	0,00105		0,00108	
			0 u. 2	0,00109	0,00097		0,00103	
			0 u. 3	0,00124	0,00099		0,00112	0,00108
II.	4	19°	0 u. 1		0,00098		0,00098	
			0 u. 2		0,00080		0,00080	
			0 u. 3		0,00079		0,00079	0,00086
III.	7	20°	0 u. 1	0,00134	0,00088	0,00098	0,00107	
			0 u. 2	0,00151	0,00093	0,00090	0,00111	
			0 u. 3	0,00130	0,00084	0,00088	0,00101	0,00106
IV.	4	21°	0 u. 1		0,00067		0,00067	
			0 u. 2		0,00068		0,00068	
			0 u. 3		0,00067		0,00067	0,00067

Ordngs.-Zahl der Vers. Reihe	Ordngs.-Zahl der Cap.	Temp.	Marken	α'	α''	α'''	$\bar{\alpha}$	α
V.	4	28°	0 u. 1		0,00086		0,00086	
			0 u. 2		0,00090		0,00090	
			0 u. 3		0,00072		0,00072	0,00083
VI.	6	30°	0 u. 1	0,00084			0,00084	
			0 u. 2	0,00051			0,00051	
			0 u. 3	0,00072			0,00072	0,00069
VII.	6	30°	0 u. 1	0.00048	0,00063		0,00056	
			0 u. 2	0,00034	0,00063		0,00048	
			0 u. 3	0,00015	0,00071		0,00043	0,00049

Hiezu ist zu bemerken, dass die Werte der α zwar von Versuch zu Versuch erheblich schwanken, dass aber nur eine geringe Genauigkeit in diesen Werten zu erwarten war, da auch in den Fällen, wo ein und derselbe Versuch unter ungeänderten Bedingungen wiederholt wurde, nicht unerhebliche Differenzen auftreten. So einerseits innerhalb der ausführlich mitgeteilten Versuchsreihen selber, anderseits zwischen den obigen Versuchsreihen VI und VII, obgleich dieselben bei derselben Temperatur und mit derselben Capillare ausgeführt sind.

Daher kann man auch über die Aenderung der Grösse α mit Aenderung der Temperatur nichts sicheres entnehmen, sondern nur aussagen, dass er sich wenig zu ändern scheint. Als Mittelwerth von α ergiebt sich aus allen Versuchen bei 20° C. $\alpha = 0{,}00092$ (bei 30° C. 0,00065). Wegen einer Erscheinung, die bei den mit Wasser und wässrigen Gaslösungen angestellten Versuchen ausführlicher beschrieben wird und von welcher auch beim Aether Spuren sich zu erkennen geben, scheint es richtiger, die Versuche bei dem Ueberdruck 0 von der Rechnung auszuschliessen. In diesem Fall ergiebt sich für Aether bei 20° C. $\alpha = 0{,}00073$.

II. Benzol.

Die Versuche wurden vorgenommen erst mit Benzol, wie dasselbe sich in der Chemikaliensammlung des Instituts vorfand, die endgiltigen Versuche aber mit Benzol aus der Fabrik von Merk (Hofmann & Schötensack), bezogen durch das chemische Institut der Universität.

Auch Benzol ergab für 20 und 30° zwischen den Druckgrenzen von 0 und 150 kgr/qcm Ueberdruck eine Zunahme der Viscosität für zunehmenden Druck. Wir geben zunächst wieder eine Versuchsreihe (bei 20°) ausführlich:

Ordnungszahl des Versuchs.	Druckangabe des Manometers in kg/qcm.											
	0			50			100			150		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1	58,5	135,5	263,5									
2	58,5	138,5	264,0									
3	59,5	137,0	258,0									
4				61,5	145,5	279,5						
5				62,0	144,0	274,5						
6				61,0	143,0	272,0						
7							64,0	148,5	281,0			
8							65,5	154,5	—			
9							64,5	150,0	285,5			
10										68,5	162,5	306,0
11										65,5	151,0	285,5
12										67,5	155,5	293,5
13										68,5	161,5	305,5
14							65,5	152,5	292,0			
15							64,0	149,0	280,5			
16				60,5	142,0	271,5						
17				61,5	145,5	272,5						
18	59,0	140,5	268,5									
19	59,0	142,0	271,0									
Mittel	58,9	138,7	265,0	61,3	144,0	274,0	64,7	150,9	284,8	67,5	157,6	297,6

Für Benzol gestaltet sich sodann folgendermassen die Tabelle der Werte α, diese in derselben Weise berechnet, wie oben für Aether erläutert:

Ordnungszahl der Vers.-Reihe	Ordnungszahl der Capll.	Temp.	Marken	α'	α''	α'''	α	α
I.	3	17,5°	0 u. 1		0,00090	0,00082	0,00086	
			0 u. 2		0,00102	0,00091	0,00097	
			0 u. 3		0,00115	0,00102	0,00109	0,00097
II.	3	19°	0 u. 1	0,00061	0,00061	0,00079	0,00074	
			0 u. 2	0,00055	0,00084	0,00088	0,00076	
			0 u. 3	0,00091	0,00102	0,00101	0,00098	0,00083
III.	2	20°	0 u. 1	0,00044	0,00058	0,00077	0,00060	
			0 u. 2	0,00079	0,00072	0,00079	0,00077	
			0 u. 3	0,00079	0,00074	0,00078	0,00077	0,00071
IV.	3	20°	0 u. 1	0,00081	0,00098	0,00097	0,00092	
			0 u. 2	0,00076	0,00088	0,00091	0,00085	
			0 u. 3	0,00067	0,00074	0,00083	0,00075	0,00084
V.	1	30°	0 u. 1	0,00141			0,00141	
			0 u. 2	0,00165			0,00165	0,00153
VI.	1	30°	0 u. 1	0,00094	0,00094		0,00094	
			0 u. 2	—	0,00076		0,00076	
			0 u. 3	—	0,00077		0,00077	0,00082
VII.	3	32°	0 u. 1	0,00162	0,00135		0,00149	
			0 u. 2	0,00148	—		0,00148	
			0 u. 3	0,00155	0,00090		0,00123	0,00140
VIII.	3	32°	0 u. 1	0,00083			0,00083	
			0 u 2	0,00106			0,00106	
			0 u. 3	0,00136			0,00136	0,00108

Ueber die Schwankungen der Werte α sind auch hier die oben schon für Aether gemachten Bemerkungen zu wiederholen.

Als Mittelwerth von α ergiebt sich für 20° C. 0,00081 (für 30° C. 0,00122) aus allen Versuchen; mit Aus-

schluss der beim Ueberdruck 0 angestellten $\alpha = 0{,}00093$ für 20° C.

III. Alkohol.

Mit Alkohol wurde nur ein vereinzelter Orientirungsversuch vorgenommen, denn die Schwierigkeit, diese Substanz rein zu erhalten, schien zu gross, um weiter darauf einzugehen. Es ergab sich auch hier eine Zunahme der Viskosität mit zunehmendem Drucke, nämlich aus jenem Versuche mit Alkohol von 15° C. die Grösse $\alpha'' = 0{,}00053$.

Um die Coefficienten β (s. p. 18) zu berechnen, entnehmen wir aus den Versuchen von Amagat[1]), welche zwischen den Druckgrenzen 9 und 34—36 Atmosphären und bei verschiedenen Temperaturen angestellt wurden, durch Interpolation die Werte der Zusammendrückbarkeit z für Aether und Benzol bei 20° C. In der folgenden Tabelle sind die damit sich ergebenden Werte von β nebst den α und z verzeichnet, wobei als Einheit des Druckes immer der Druck von 1 Kgr. Gewicht auf das Quadratcentimenter gilt; es sind in die Tabelle auch die Werte dieser Grössen für Kohlensäure bei 25° C. aufgenommen, wie sie sich aus den Versuchen von Warburg und v. Babo ergaben. Endlich sind auch die den Beobachtungstemperaturen entsprechenden „reducirten" Temperaturen θ (van der Waals) verzeichnet, d. h. die Quotienten aus den den Beobachtungstemperaturen entsprechenden absoluten Temperaturen und den absoluten kritischen Temperaturen, welche letztere für Kohlensäure, Aether und Benzol bezüglich 303°,9, 463°, 553°,6 sind.

[1]) Ann. de ch. et phys. (5) t. XI. p. 520 ff.

	Kohlensäure $t = 25^0 1$ $\theta = 0{,}98$	Aether $t = 20^0$ $\theta = 0{,}63$	Benzol $t = 20^0$ $\theta = 0{,}53$
$\alpha \cdot 10^6$	7470	730	930
$z \cdot 10^6$	3040	173	91
β	2,5	4,2	10,2

Man sieht, dass in der Tabelle der kleineren reducirten Temperatur das grössere β entspricht.

Durch die Bestimmung der Grösse α wird nunmehr ermöglicht, die von van der Waals begründete Vergleichung verschiedener Substanzen in „übereinstimmenden Zuständen“,[1]) welche von jenem nur für die Ausdehnungs- und Zusammendrückbarkeitscoefficienten ausgeführt wurde, auch auf die Viscosität auszudehnen; denn jenes α bildet das bisher noch fehlende Glied zur Reduzirung der Reibungscoefficienten verschiedener Flüssigkeiten auf übereinstimmende Drucke. Doch ist Umfang und Sicherheit der vorliegenden Beobachtungsresultate noch zu gering, um hier auf diese Theorie näher einzugehen.

IV. Wasser.

Die ersten Versuche über die in dieser Arbeit behandelten Fragen wurden begreiflicherweise mit Wasser angestellt, da bei dieser Substanz die geringsten Schwierigkeiten zu erwarten waren. Es ergab sich indessen

[1]) Continuität des gasförmigen und flüssigen Zustandes; deutsch von F. Roth. Kap. XII, XIII.

sehr bald, dass gerade das Verhalten des Wassers am schwierigsten festzustellen war. Der Einfluss des Drucks war nämlich beim Wasser bedeutend kleiner, und daher schwieriger festzustellen, als bei den andern untersuchten Substanzen; und um so mehr musste hier zuerst eine Erscheinung verwirren, von welcher auch die andern untersuchten Substanzen Spuren erkennen lassen, welche aber dort wegen des überall grössern Einflusses des Druckes nicht so sehr hervortrat, als beim Wasser und daher für diese Substanz genauer studirt wurde.

Es zeigte sich nämlich die Strömungszeit bei Atmosphärendruck dauernd verändert, und zwar beim Wasser verkleinert, wenn vorher ein höherer Druck angewandt war. So ergaben zwei verschiedene Füllungen mit lufthaltigem, destillirten Wasser bei 20° C., die erste ohne besondere Vorkehrungen, die zweite aber mit den früher (s. S. 11) angegebenen Vorsichtsmassregeln in den Apparat eingebracht — Versuchsreihen von folgendem Verlauf.

Ordnungszahl des Versuchs.	Druckangabe des Manometers in kgm/qctm.											
	0			50			100			150		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1	102,8	232,0	445									
2	101,2	232,0	449									
3. 4	100,4	234,0	447	98,4	229,6	428						
5. 6				98,4	230,0	430	96,0	228,0	429			
7							95,6	222,8	423			
8							96,4	226,0	428			
9. 10							94,8	222,4	423	90,8	216,6	413
11										94,4	215,2	412
12							98,0	228,0	423			
13. 14							98,4	228,0	428	90,4	220,0	420
15										90,0	218,4	417
16							98,0	227,6	428			
17				98,4	228,0	423						
18				98,8	227,6	424						
19	99,2	228,2	429									
20	99,2	228,4	424									

Ordnungszahl des Versuchs.	Druckangabe des Manometers in kgm/ctm.											
	0			50			100			150		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1	97,2	224,8	414,8									
2	97,5	226,0	418,5									
3	97,5	224,5	414,0									
4				96,5	222,0	413,0						
5				96,0	224,5	416,5						
6							97,0	224,0	417,0			
7							95,0	222,5	414,5			
8							95,5	220,0	416,0			
9										94,5	218,0	413,5
10										94,5	218,0	405,5
11							96,0	219,5	418,5			
12							96,5	219,5	418,0			
13				96,0	219,5	409,0						
14	95,5	220,0	413,5									

Diese Verkleinerung der Strömungszeit verschwand auch nicht wieder innerhalb der Zeit bis zu einer halben Stunde nach Wiederherstellung des Atmosphärendrucks; ob sie nach längerer Zeit verschwindet, muss dahingestellt bleiben.

Da bei reinem Wasser ein solches Verhalten allen andern Erfahrungen widersprechen würde, so lag die Vermutung nahe, dass im Wasser absorbirte Luft Ursache der genannten Erscheinung sei. Es wurde daher Wasser mit andern Gasen gesättigt, welche stärker, als die Luft, von demselben absorbirt werden. Wasser, das mit Kohlensäure und Ammoniak gesättigt war, zeigte die beschriebene Erscheinung nicht, Schwefelwasserstoffwasser hingegen in noch bedeutenderem Grade, als lufthaltiges Wasser, wie folgende Versuchsreihen ergeben, die angestellt sind bei 20° C. mit der bei gewöhnlicher Temperatur gesättigten Substanz:

Ordnungszahl des Versuchs.	Druckangabe des Manometers in kgm/qcm.											
	0			50			100			150		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1	99,5	230,0	428,5									
2							92,0	213,5	394,5			
3										92,5	212,5	390,5
4							91,0	210,5	389,5			
5				92,5	214,0	405						
6	93,0	216,0	414,0									
7	93,5	216,0	401,5									
8	94,5	220.0	406.0									
1	105,0	251,5										
2	100,5	236,5										
3	102,5	264,5										
Zwischen Versuch 3 und 4 fand Compression durch 150 kgm/qcm. statt.												
4	90,0	209,0	300,0									
5	91,0	211,5	381,0									
6	93,0	210,5	383,0									
7	92,0	212,0	384,5									
Zwischen Versuch 7 und 8 nochmals Compression durch 150 kgm/qcm.												
8							90,5	209,0	382,5			
9							91,5	210,5	387,0			
10										89,5	209,0	392,5
11										91,5	212,0	398,0
12							91,5	216,5				
13	93,5	218,5										
14	93,5	218,5										

In allen Fällen ergab sich die beschriebene permanente Aenderung der Viscosität durch vorübergehenden hohen Druck nur dann unzweifelhaft, wenn man vom Atmosphärendruck ausging. Vergleicht man indessen die Strömungszeiten beim Drucke 50 und 100 bevor und nachdem ein höherer Druck stattgefunden hatte, so zeigte sich die Erscheinung nicht.

Mit luftfreiem Wasser zu arbeiten war bei der Ein-

richtung des Apparats nicht möglich, da das Wasser nicht im Apparat ausgekocht werden konnte. Gleichwohl wurde, um das Verhalten möglichst luftfreien Wassers zu prüfen, der Apparat mit gut ausgekochtem destillirtem Wasser gefüllt. Es zeigte sich dabei die beschriebene Erscheinung nicht, oder nur in geringem Masse, wie folgende Versuche zeigen, der erste bei 12,2°, der zweite bei 20°.

Ordnungszahl des Versuchs.	Druckangabe des Manometers					
	0			100		
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
1	100,4	230,0	422			
2	99,6	229,6	424			
3				98,8	229,2	421
4				98,4	228,8	417
5				98,4	227,2	421
6				99,2	228,4	419
7	100,0	229,6	423			
8	100,8	230,4	425			
9	100,4	230,0	423			
1	98,8	220,8	426			
2	97,2	230,4	435			
3				94,8	224,0	419
4				97,2	226,0	426
5	98,8	223,2	427			
6	99,2	230,8	425			

Aus den beschriebenen Versuchen scheint hervorzugehen, dass die Constitution gewisser bei Atmosphärendruck gesättigter Gaslösungen durch eine vorübergehende Anwendung einer Druckerhöhung eine permanente Aenderung erfährt, nämlich eine Aenderung, welche nicht verschwindet, wenn der Atmosphärendruck wiederhergestellt ist. Dass man es nicht mit zufälligen Störungen zu

thun hat, scheint dabei daraus zu folgen, dass nicht alle Gaslösungen, sondern nur einzelne, die beschriebene Erscheinung zeigen. Auch ist nicht anzunehmen, dass die Verkleinerung der Strömungszeiten von einer Uebersättigung des Wassers mit im Apparat befindlicher Luft infolge des Druckes herrühre, da ja Schwefelwasserstoffwasser die Erscheinung in noch höherem Grade zeigt, ohne dass eine solche Möglichkeit dabei vorhanden wäre.

Nachdem das beschriebene Verhalten festgestellt war, ging ich daran, die Beziehung zwischen Viscosität und Druck bei ausgekochtem Wasser zu ermitteln. Es ergab sich dieselbe mit wachsendem Druck abnehmend; der absolute Wert der Aenderung war zwar viel geringer, als für die andern untersuchten Flüssigkeiten, aber eine Abnahme wurde mit Sicherheit constatirt.

Folgendes ist die Zusammenstellung der Werte α aus den einzelnen Versuchen:

Ordnungszahl der Versr.	Ordnungszahl der Cap.	Temp.	Marken.	α'	α''	α'''	$\overline{\alpha}$	α
I	4	11,5°	0 u. 1	0,00026	0,00024	0,00020	0,00023	
			0 u. 2	0,00011	0,00027	0,00032	0,00023	
			0 u. 3	0,00046	0,00049	0,00038	0,00044	0,00030
II.	4	12°	0 u. 1	0,00019	0,00014		0,00017	
			0 u. 2	0,00029	0,00027		0,00028	
			0 u. 3	0,00039	0,00631		0,00035	0,00027
III.	5	12,2°	0 u. 1		0,00015		0,00015	
			0 u. 2		0,00007		0,00007	
			0 u. 3		0,00009		0,00009	0,00010
IV.	5	12,5°	0 u. 1		0,00018		0,00018	
			0 u. 2		0,00023		0,00023	0,00021
			0 u. 3					

Ordnungszahl der Vers.-Reihe	Ordnungszahl der Capll.	Temp.	Marken	α'	α''	α'''	α	α
V.	2	20°	0 u. 1	+ 0,00026	0,00026	0,00018	0,00023	
			0 u. 2	— 0,00014	0,00017	0,00009	0,00004	
			0 u. 3	— 0,00018	0,00014	—	— 0,00002	0,00008
VI.	2	20°	0 u. 1	0,00023	0,00015	0,00010	0,00016	
			0 u. 2	0,00000	0,00009	0,00007	0,00005	
			0 u. 3	0,00020	0,00020	0,00011	0,00009	0,00010
VII.	4	21°	0 u. 1	0,00043	0,00034	0,00018	0,00032	
			0 u. 2	0,00045	0,00030	0,00016	0,00030	
			0 u. 3	0,00039	0,00026	0,00016	0,00027	0,00030
VIII.	2	21°	0 u. 1		0,00010		0,00010	
			0 u. 2		0,00016		0,00016	
			0 u. 3		0,00020		0,00000	0,00015
IX.	5	21,4°	0 u. 1		0,00014		0,00014	
			0 u. 2		0,00009		0,00009	
			0 u. 3		0,00001		0,00001	0,00008
X.	5	30°	0 u. 1		0,00006		0,00006	
			0 u. 2		0,00007		0,00007	
			0 u. 3		0,00004		0,00004	0,00006
XI.	5	40°	0 u. 1		0,00016		0,00016	
			0 u. 2		0,00010		0,00010	
			0 u. 3		0,00012		0,00012	0,00013

Ob dieses eigentümliche Verhalten dem reinen vollkommen luftfreien Wasser an sich zukommt, oder von einer nur geringen Quantität absorbirter Luft herrührt, konnte aus den angeführten Gründen nicht ermittelt werden.

Zum Schluss sind die erhaltenen Werte von α und β für alle untersuchten Substanzen als Endresultat vorliegender Arbeit in einer kleinen Tabelle umstehend zusammengestellt:

Substanz.	Temp.	$\alpha \cdot 10^6$	β
Flüss. Kohlensäure	25,1°	7470	2,5
Aether	20°	730	4,2
Benzol	20°	930	10,2
Wasser	20°	— 170	— 3,8

Endlich habe ich die erhaltenen Resultate noch in der Richtung zu verwerten gesucht, den spezifischen Einfluss der Temperatur und den der Dichtigkeit auf die Aenderung der Viscosität auseinander zu halten, nämlich zu erkennen, wieviel von der bei Atmosphärendruck constatirten Verminderung des Reibungscoefficienten bei steigender Temperatur wirklich von der Temperatur, und wieviel von der Dichtigkeitsänderung der Substanz herrührt. Es lässt sich aber für Aether und Benzol in dieser Hinsicht nichts genaues festsetzen, solange nicht über die Compressibilität dieser Substanzen bei den angewandten Zuständen sichere Angaben vorhanden sind. (Vergl. die Zusammenstellung bei Quincke, Wied. Ann. 1883, 19 p. 401.) Für Wasser aber ist offenbar, dass die gesamte Verkleinerung der Viscosität von der Temperatur herrühren muss, da ja Verminderung der Dichtigkeit sogar Zunahme der Viskosität zur Folge hat.

Die im Vorstehenden wiedergegebenen Untersuchungen wurden ausgeführt in den seit April 1882 neu bezogenen Räumen des physikalischen Instituts hiesiger Universität auf Veranlassung und unter Leitung des Herrn Prof. Dr. E. Warburg. Es ist mir eine erwünschte Gelegenheit, diesem meinem hochverehrten Lehrer für die mir gewordene Anregung und Aufmunterung bei dieser Arbeit, sowie auch für die mir während meiner ganzen Studienzeit zugewendete freundliche Berücksichtigung meinen ergebensten Dank an dieser Stelle aussprechen zu können.

Freiburg, den 31. Oktober 1883.

Joseph Sachs.

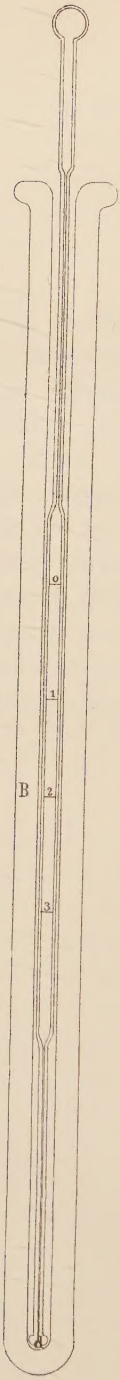
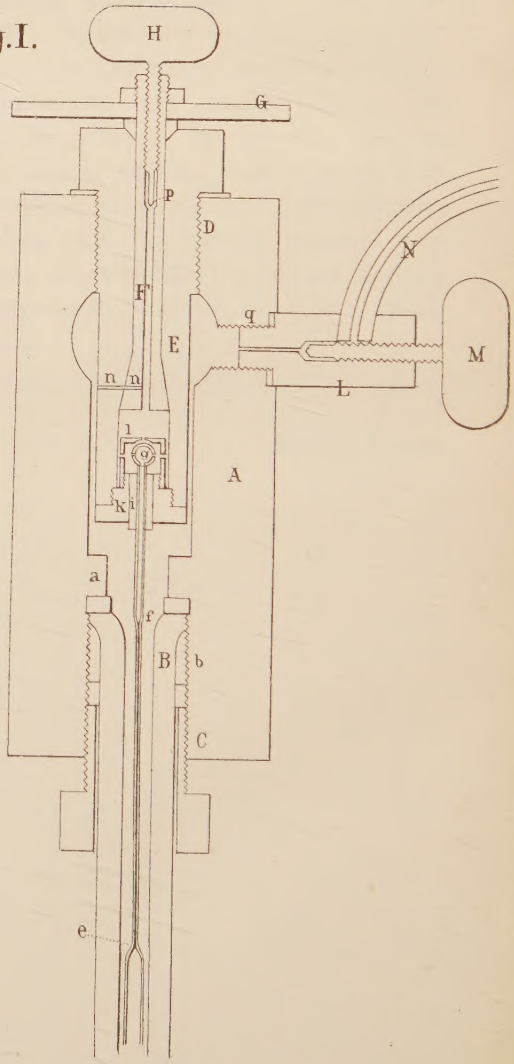


Fig.I.



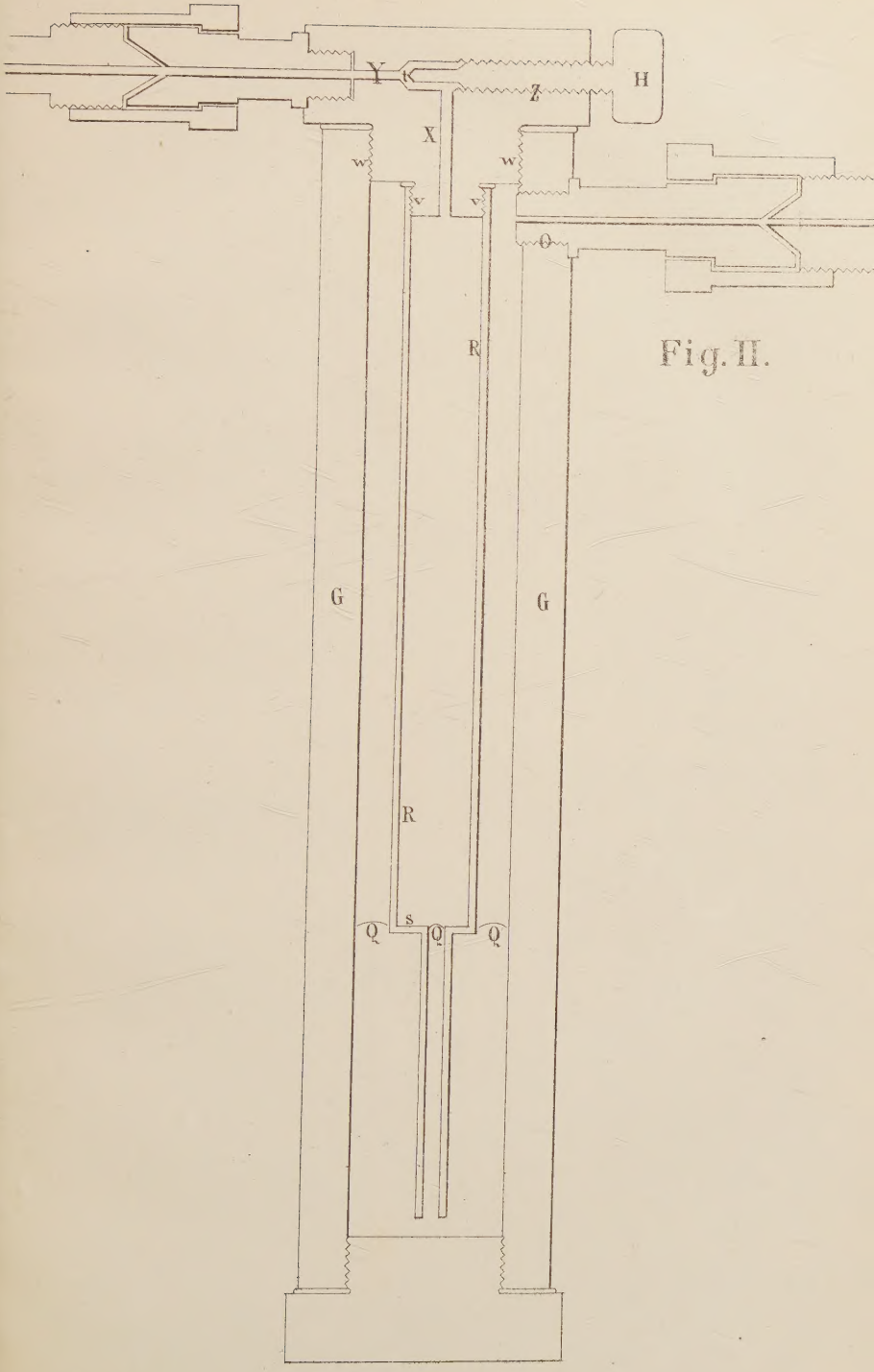


Fig. II.